

# Toepassing van methaangisting voor de behandeling van minder geconcentreerd afvalwater

## Inleiding

De laatste jaren wint meer en meer het inzicht veld dat methaangisting, behalve voor de stabilisatie van primair en secundair slib in rioolwaterzuiveringsinstallaties, eveneens aantrekkelijke toepassingsmogelijkheden biedt voor de directe zuivering van afvalwater. Weliswaar wordt dit proces hiervoor in de praktijk nog niet op grote schaal toegepast, maar uit beschikbare literatuurgegevens, hoewel in hoofdzaak betrekking hebbend op experimenten uitgevoerd op proeffabrieksschaal, kan worden afgeleid dat



DR. IR. G. LETTINGA  
Afd. Waterzuivering  
der Landbouwhogeschool,  
Wageningen



IR. A. F. M. VAN VELSEN  
Afd. Waterzuivering  
der Landbouwhogeschool,  
Wageningen

met dit proces dikwijls goede zuiveringsresultaten zijn te verkrijgen. Tabel I geeft een samenvatting van een

aantal resultaten, verkregen met verschillende typen afvalwater.

Uit de tabel blijkt dat dikwijls bij goede zuivering (70 - 90 %) een belasting van 3 - 5 kg BZV/m<sup>3</sup>/d kan worden toegepast. Dat is aanzienlijk hoger dan bij het actief-slib proces, waar max. 2,0 - 2,5 kg BZV/m<sup>3</sup>/d kan worden bereikt [17]. Anaerobe gisting biedt in vergelijking met het actief-slibproces nog een aantal belangrijke voordelen, nl.:

- een aanzienlijk lagere netto slibproductie;
- lagere nutriënt behoefte;
- geen energieverbruik maar daarentegen de vorming van het energierijke methaangas;
- anaeroob slib kan gedurende meer dan een half jaar ongevoed worden bewaard zonder dat er een merkbare achteruitgang optreedt in de activiteit van het slib [16].

Anderzijds kleven aan methaangisting een aantal bezwaren en heeft het proces van oudsher de reputatie dat een stabiele gisting moeilijk is te realiseren en/of in stand te houden, alsmede dat toepassing van het proces dikwijls gespaard gaat met aanzienlijke stankoverlast. Voorts leeft bij vele afvalwaterdeskundigen het min of meer hardnekkige idee dat methaangisting alleen toepasbaar is voor zeer geconcentreerd

afvalwater, t.w. met een organisch stofgehalte van 1 % of hoger. De belangrijkste bezwaren die bij de huidige stand van kennis tegen het proces kunnen worden ingebracht zijn in feite:

1. De lange opstarttijden die als gevolg van de langzame groei van de methaanbacteriën moeten worden toegepast.
2. De noodzaak van het werken bij een temperatuur van minimaal 25 °C, wil men althans hoge organische belastingen (> ca. 3 kg CZV/m<sup>3</sup>/d) kunnen toepassen).

De laatste jaren zijn op het gebied van de methaangisting aanzienlijke vorderingen gemaakt, zowel wat betreft kennis en inzicht in de microbiologie en biochemie, als ook met betrekking tot procesontwikkeling en procesvoering. Niettemin wachten ook thans nog diverse problemen op een oplossing, zoals op het gebied van de microbiologie en biochemie.

## Toepassing van methaangisting op de behandeling van minder geconcentreerd afvalwater

Voor de toepassing van methaangisting op de behandeling van minder geconcentreerd afvalwater (0,1 - 0,5 % organische stof) is een van de belangrijkste problemen het vinden van een praktisch aanvaardbare

TABEL I - Literatuurgegevens betreffende de zuivering van afvalwater d.m.v. methaangisting.

Type afvalwater	Toegepaste proces <sup>1)</sup>	Organische belasting op volume kg/m <sup>3</sup> /d		Organische belasting op slib kg/kg/d		VRT <sup>2)</sup> uur	temp. °C	Influent conc. g/l		Zuiveringseffekt %		lit. bron
		BZV	CZV	BZV	CZV			BZV	CZV	BZV	CZV	
veesverw. ind.	Contact Proces (PF)	1,76	—	—	—	31	33	2000	—	77	—	1
veesverw. ind.	Contact Proces	2,50	—	—	—	12	33	1380	—	66	—	1
abattoir	Contact Proces (PF)	1,2—0,5	—	0,05—0,12	—	3—15	15—25	575—1765	—	92—97	—	2
abattoir	Contact Proces (PS)	2,5	—	—	—	12—13	32—33	1200—1500	—	91	—	3,4
veescons. ind.	Contact Proces (PF)	1,4—5,3	—	0,125—0,25	—	16—16,6	35—38	1240— 900	—	93—88	—	5,6
veescons. ind.	Contact Proces (PF)	0,4—2,5	—	0,03—0,19	—	55—6,8	25	1240— 900	—	98—70	—	5,6
mais-zetmeel	Contact Proces (PS)	1,76	—	0,04	—	79	23	6280	—	88	—	7
zetmeel	Contact Proces (PF)	3,6	VI.St.	0,123	VI.St.	91	34	14000	VI.St.	80	op VI.St.	8
distilleerderij	Contact Proces	4,0	—	—	—	149	33	25000	—	95	—	14
brouwerij	Contact Proces (PF)	2,2	—	0,17	—	62	?	5500	—	92—93	—	9
wijn	Contact Proces (PF)	11,7	—	—	—	48	33	23400	VI.St.	85	op VI.St.	10
wijn	Contact Proces (PS)	—	3,1	—	0,15	172	32	—	17000—22000	—	97	11
melasse e.d.	Contact Proces (PF)	8,75	VI.St.	—	—	91	33	32800	VI.St.	69	op VI.St.	10
melasse	Contact Proces (L)	3,2	—	0,2—0,3	—	240	35	32000	—	95,6	—	12
gist	Contact Proces (PF)	5,95	VI.St.	—	—	48	35	11900	VI.St.	65	op VI.St.	10
citrus	Contact Proces (PF)	3,42	—	—	—	31	33	4600	—	87	—	13
hout, papier	Contact Proces (PF)	0,8—2,4	1,9—3,8	0,07—0,25	0,16—0,59	80—28	35	2470	5860	82—75	77—71	6
zuivel	Contact Proces (PF)	0,8—4,4	—	0,125—0,26	—	3,4—7,5	35	900—1200	—	98—86	—	6
zuivel	Contact Proces (PF)	0,4—1,96	—	0,04—0,13	—	3,4—8,3	25	900—1200	—	98—73	—	6
gist 2 traps	Contact Proces (PF)	1,82	2,4	∞ 0,1	∞ 0,13	168	35	12630	16500	96,2	—	15
gist 2 traps	Contact Proces (PF)	2,92	3,8	∞ 0,1	∞ 0,13	106	35	12970	16860	89,8	—	15
gist 1 traps	Contact Proces (PF)	3,64	4,8	∞ 0,2	∞ 0,26	84	35	12630	16500	88,4	—	15
gist 1 traps	Contact Proces (PF)	5,84	7,6	∞ 0,2	∞ 0,26	53	35	12970	16860	72,4	—	15

1) PF = proeffabriek  
PS = praktijkschaal  
L = laboratoriumschaal  
2) VRT = vloeistof-retentietijd

oplossing voor het probleem van de slib-uitspoeling. Een stabiel werkende methaangisting is op den duur alleen in stand te houden, indien de totale hoeveelheid actief bacteriemateriaal in de reaktor op een constant hoog peil kan worden gehandhaafd. De mate waarin verdund afvalwater d.m.v. methaangisting is te zuiveren wordt dan verder voornamelijk bepaald door de afhankelijkheid van de specifieke substraat verbruikssnelheid (gr. CZV-verbruik per gram slib per dag) van de substraatconcentratie.

Hiervoor wordt in de regel aangenomen dat de volgende relatie geldt:

$$\frac{dF}{dt} = \frac{k}{K_s + S} S \quad (1)$$

waarin:

$\frac{dF}{dt}$  = specifieke substraatverbruikssnelheid (massa/massa/tijd)

$S$  = Substraatconcentratie (massa/volume)

$k$  = maximale specifieke substraatverbruikssnelheid (massa/massa/tijd)

$K_s$  = substraatconcentratie waarbij  $\frac{dF}{dt} = \frac{1}{2} k$  (massa/volume)

Indien  $K_s \ll S$  kan betrekking (1) worden

vereenvoudigd tot  $\frac{dF}{dt} = k$ , en voor het

geval  $K_s \gg S$  tot  $\frac{dF}{dt} = k/K_s S$ .

Bij de anaerobe omzetting van een complex substraat kan men drie deelprocessen onderscheiden, die achtereenvolgens verlopen, t.w. hydrolyse, zuurvorming en methaangisting. De snelheidsbepalende stap ligt, naar algemeen wordt aangenomen, bij de laatste stap, de methaangisting, waarbij organische zuren zoals azijnzuur, propionzuur e.d. worden omgezet in methaan en kooldioxyde.

Het onderzoek op het gebied van de kinetiek van de methaangisting heeft zich dan ook vooral toegespitst op de omzetting van vluchtige vetzuren. Bij beschouwing van literatuurgegevens betreffende de kinetiek van aerobe en anaerobe systemen, onlangs samengevat door Lawrence en McCarty [18], blijkt dat de waarden voor de maximale specifieke substraatsnelheid bij anaeroob bacteriemateriaal, bij een complexe voeding ongeveer 1/10 bedragen van die bij aeroob bacteriemateriaal, waar de waarden voor deze faktor tussen 3 en 20 g/g/d liggen. Methaanbacteriën kunnen echter bij temperaturen boven 20 °C maximaal ook ca. 4 tot 15 maal aan hun eigen gewicht per dag aan substraat verbruiken.

De waarden van  $K_s$  liggen bij anaerobe systemen in de regel hoger dan bij aerobe systemen, maar gezien de vaak grote verschillen welke verschillende onderzoekers met eenzelfde voeding vinden, valt over de werkelijke grootte van deze faktor weinig met zekerheid te zeggen. Lawrence en McCarty [19] vonden met azijnzuur als substraat bij 25 en 30 °C voor  $K_s$  resp. 869 en 333 mg/l en voor  $k$  4,7 en 4,8 g/g/d. Een en ander zou betekenen dat bij een azijnzuurconcentratie van 100 mg/l de specifieke substraatverbruikssnelheid resp. 0,48 en 1,10 g/g/d zal bedragen, en bij een azijnzuurconcentratie van 50 mg/l nog slechts 0,25 en 0,63 g/g/d. Uit resultaten van ladingsgewijze experimenten uitgevoerd op ons laboratorium is gebleken dat bij een temperatuur van 30 °C de waarden van  $K_s$  dikwijls, zoals bij een mengsel van vluchtige vetzuren, in de orde van grootte van 20 - 50 liggen [20, 21]. Op grond hiervan kan worden verwacht dat methaanslib ook met verdund afvalwater per tijdseenheid een aanzienlijke hoeveelheid substraat kan omzetten.

Het handhaven van een voldoende hoge slibconcentratie, en derhalve lange slibverblijftijd, in de anaerobe reaktor blijkt in de praktijk de grootste moeilijkheden op te leveren voor toepassing van methaangisting voor de zuivering van minder geconcentreerd afvalwater. Aanvankelijk heeft men daartoe getracht het principe toe te passen van externe afscheiding van het met het effluent meegevoerde slib, gecombineerd met een slibretoursysteem. Op dit zgn.

anaerobe contactproces zijn wat betreft uitvoeringsvorm van de reaktor en wijze van slibafscheiding tal van varianten. Een voor de praktijk aantrekkelijker werkwijze is die van het zgn. *anaerobe filter*, waarbij dank zij de aanwezigheid van vulmateriaal in de gistingsruimte de uitspoeling van het slib op een zeer laag niveau kan worden gehouden. Het grote voordeel van dit proces boven het anaerobe contactproces is dat hier geen extern slibafscheidings- en retoursysteem behoeft te worden toegepast. Het anaerobe filter is op ons laboratorium uitgebreid bestudeerd voor toepassing op de behandeling van het afvalwater van de aardappelmeelindustrie. Een deel van de hierbij verkregen resultaten werd reeds in dit tijdschrift gepubliceerd [22]. We hebben het proces sindsdien bekeken op het effect van hydraulische en organische stootbelastingen [23]. Een aantal van de belangrijkste hierbij verkregen resultaten is samengevat in tabel II. Uit deze gegevens blijkt dat stootbelastingen door het proces zeer goed kunnen worden opgevangen. Weliswaar is er bij zeer hoge organische belastingen sprake van een aanzienlijke achteruitgang in de zuivering, maar nadat de belasting is teruggebracht tot 2 - 3 kg CZV/m<sup>3</sup>/dag wordt snel weer een zuiveringseffekt van meer dan 90 % bereikt. Bij deze lage belasting werd steeds een oplossing met een CZV-gehalte tussen 1000 - 2500 mg/l door de reaktor gevoerd. Het blijkt dus mogelijk m.b.v. het anaerobe filter een goede zuivering van minder geconcentreerd afvalwater te realiseren tot

TABEL II - Resultaten van experimenten met het anaerobe filter uitgevoerd met aardappelvruchtwater (AVW) als voeding bij 30 °C.

Anaeroob filter I					
organische belasting kg CZV/m <sup>3</sup> /d	vloeistof verblijftijd dag	CZV infl. mg/l	zuive- ring %	CH <sub>4</sub> -opbrengst faktor (1-Y)	periode onderzoek dag-no.
2,5-2,86	1,75-0,27	9000-1000	92-95	0,91	0- 49
11,42	0,26	5400	78	0,665	49- 52
2,6	0,27	1290	81	1,14	53- 54
16,3	0,24	7100	61	0,625	55- 56
3,02	0,53	3000	91,6	0,924	69- 75
10,9	0,46	9100	62,5	0,73	76- 79
2,75	0,51	2550	92	1,28	80- 82
13,64	0,44	11000	59,7	0,66	83- 86
2,50	0,52	2350	92,2	1,20	87- 92
9,76	0,43	7640	73	0,83	93- 94
2,25	0,53	2175	92	1,66	95- 97
9,83	0,47	8400	74	0,85	98-101
2,40	0,55	2385	91,5	1,61	102-103
Anaeroob filter II					
2,86	0,94	4900	96,5	0,84	0- 39
2,87	0,51	2660	96,5	0,83	40- 50
5,45	0,49	4800	94	0,805	51- 58
10,2	0,455	8430	83	0,76	59- 62
2,31	0,52	2130	94	1,22	63- 65
9,68	0,45	7835	88	0,72	66- 68
2,16	0,51	2030	96	1,15	69- 74
8,22	0,47	6975	87,5	0,86	75- 76

TABEL III - Resultaten van de experimenten van McCarty met het anaerobe filter, uitgevoerd bij 25 °C [24].

belasting kg CZV/m <sup>3</sup> /d	vloeistof verblijftijd dagen	CZV infl. mg/l	zuivering %
voeding: azijnzuur + propionzuur			
0,42	1,5	1500	98,4
0,85	0,75	1500	90,5
1,70	0,375	1500	79,0
3,40	0,19	1500	68,4
0,42	3,0	3000	98,6
0,85	1,75	3000	92,0
1,70	1,5	6000	97,7
3,40	0,75	6000	86,9
voeding: mengsel van koolhydraten + eiwitten			
0,42	1,5	1500	92,1
0,85	0,75	1500	91,5
1,70	0,375	1500	79,3
3,50	0,19	1500	36,7
0,42	3,0	3000	93,4
0,85	1,5	3000	88,4
3,50	0,375	3000	63,0

een belasting van 2,5 - 3 kg CZV/m<sup>3</sup>/d bij 30 °C. De slibuitspoeling bedroeg onder deze omstandigheden maximaal 70 - 80 mg/l, meestal echter aanzienlijk minder. Voorts is bij deze experimenten geconstateerd dat 80 - 90 % van de eliminatie van de organische stof plaats vindt in de onderste 30 cm. Alleen bij zeer hoge belastingen geeft het bovenste deel van het filter een grotere bijdrage aan de eliminatie van de organische stof.

Uit de gegevens in tabel II valt op dat gedurende de korte perioden met relatief lage belasting, toegepast tussen twee hoge belastingen, voor de methaanopbrengstfactor uitzonderlijke hoge waarden worden gevonden. De oorzaak hiervan is gelegen in de omstandigheid dat tijdens de voorafgaande hoge belasting een deel van het substraat in geprecipiteerde en/of gesorbeerde vorm in de reaktor is achtergebleven. Dit substraat wordt tijdens de periode met lage belasting snel omgezet.

Ook McCarty [24] verkreeg met zijn anaerobe filters bij gebruik van afvalwater met een CZV van minimaal 1500 mg/l een goede zuivering. Deze experimenten werden uitgevoerd bij een temperatuur van 25 °C. Een aantal resultaten is samengevat in tabel III.

De zuivering vindt ook hier voornamelijk in het onderste deel van het filter plaats. Een aantal onderzoekers hebben de toepassing van methaangisting bestudeerd op de zuivering van huishoudelijk afvalwater. J. B. Coulter [25] onderzocht dit in een tweetraps-proces bestaande uit een opwaarts doorstromende gistingstank (inhoud 4,7 m<sup>3</sup>) gevolgd door een anaerob filter (inhoud 2,6 m<sup>3</sup>). Met afvalwater met een gemiddelde BZV van 150 mg/l en een verblijftijd van

1 dag werd na 7 weken een zuivering op BZV-basis van 65 % bereikt; gestart werd met een niet geënt systeem. Bij experimenten uitgevoerd op laboratoriumschaal werd bij 25 °C 82 % van de BZV verwijderd en bij 4 °C 67 %. De belasting bedroeg in deze experimenten 0,1 kg BZV/m<sup>3</sup>/d.

W. A. Pretorius [26] onderzocht eveneens de toepasbaarheid van een opwaartse doorstroomde, continu geroerde gistingruimte met een achtergeschakeld anaerob filter. Werkende bij een temperatuur van 20 °C bereikte hij een CZV-redukatie van 90 % bij een CZV-belasting van 0,5 kg/m<sup>3</sup>/d en een vloeistof-verblijftijd van 24 uur. De experimenten werden uitgevoerd op laboratoriumschaal en zijn later in een proefinstallatie op grotere schaal voortgezet. Het bleek hierbij gunstig in de 'upflow reactor' niet te roeren om de slibuitspoeling zo laag mogelijk te houden. Tenslotte moeten nog worden genoemd de experimenten van Simpson [27], waarbij een mengsel van huishoudelijk en industrieel afvalwater (CZV 1207 - 1284 mg/l, BZV 327 - 386 mg/l) werd onderworpen aan een anaerobe zuivering in een geroerde reaktor gecombineerd met een slibafscheidings- en retoursysteem (contactproces). De experimenten werden op proefabriekschaal uitgevoerd. Het bleek mogelijk bij een belasting van 2,9 CZV/m<sup>3</sup>/d van de contacteenheid bij 22 °C ca. 72 % van het CZV (80 % van het BZV) te elimineren. Hier kon een te grote slibuitspoeling voorkomen worden door in de contacteenheid niet mechanisch te roeren, maar gasrecirculatie toe te passen.

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat toepassing van anaerobe gisting op weinig geconcentreerd afvalwater met een temperatuur van 25 °C of hoger zeker

reële mogelijkheden biedt. Bij lagere temperaturen van het afvalwater zou toepassing van methaangisting overwogen kunnen worden indien over een voldoende hoeveelheid afvalwarmte kan worden beschikt om het afvalwater tot de vereiste temperatuur op te warmen.

Hoe dan ook, vooralsnog blijft de eerste opgave het ontwikkelen van een reaktor waarin op eenvoudige wijze een goede slibretentie is te realiseren en die ook wat betreft constructie en bedrijfsvoering zo eenvoudig mogelijk is. Het anaerobe filter biedt gunstige perspectieven, maar heeft het bezwaar dat een deel van de reaktieruimte wordt ingenomen door het vulmateriaal.

In overeenstemming met andere onderzoekers [9, 26, 28] hebben we geconstateerd dat anaerob slib goede bezinkeigenschappen verkrijgt en/of behoudt indien in de reaktieruimte niet, of intermitterend voorzichtig wordt geroerd. Het moet dus principieel mogelijk zijn een goede slibretentie te bewerkstelligen door het influent in opwaartse richting continu door een slibdeken te leiden, waarin periodiek voorzichtig wordt geroerd. We hadden met onze experimenten met het anaerobe filter reeds geconstateerd dat de bij dit proces optredende slibuitspoeling vooral moet worden toegeschreven aan turbulenties, ontstaan in de vloeistof tengevolge van door het filter omhoogschietende gasbellen. Dit zou grotendeels kunnen worden voorkomen door het gevormde gas vroegtijdig af te scheiden.

Een type reaktor, gebaseerd op de hierboven genoemde overwegingen, is in de hierna beschreven experimenten op zijn werking bestudeerd voor de zuivering van verdund afvalwater.

## Eigen onderzoek

### Doelstelling

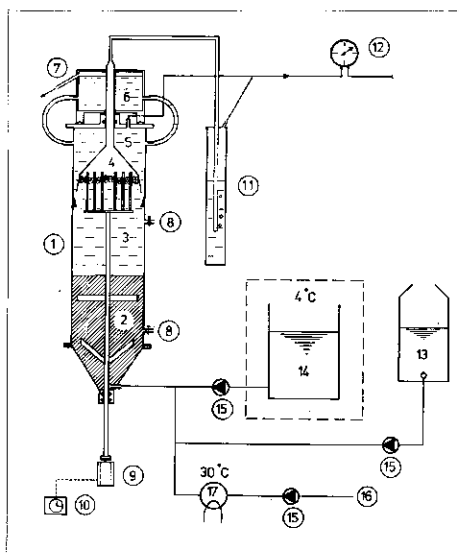
Het doel van de hier beschreven experimenten is na de gaan a. tot welke organische (hydraulische) belasting met de onderzochte 'upflow' reaktor een stabiele methaangisting met een verdund afvalwater in stand kan worden gehouden bij een gewenst zuiveringseffect van minimaal 85 - 90 %, alsmede b. het verkrijgen van een beter inzicht in de factoren die hiervoor bepalend zijn.

## Experimenteel

### Proefopstelling

De door ons gebruikte proefopstelling is schematisch weergegeven in afb. 1. De upflow-reactor (1) is geconstrueerd van een perspex-cilinder (d<sub>i</sub> = 19 cm, h = 58 cm) en een roestvrij stalen conisch toelopende bodem. In de bodem is via een afdichtingsbus een

Afb. 1 - Gebruikte proefopstelling.



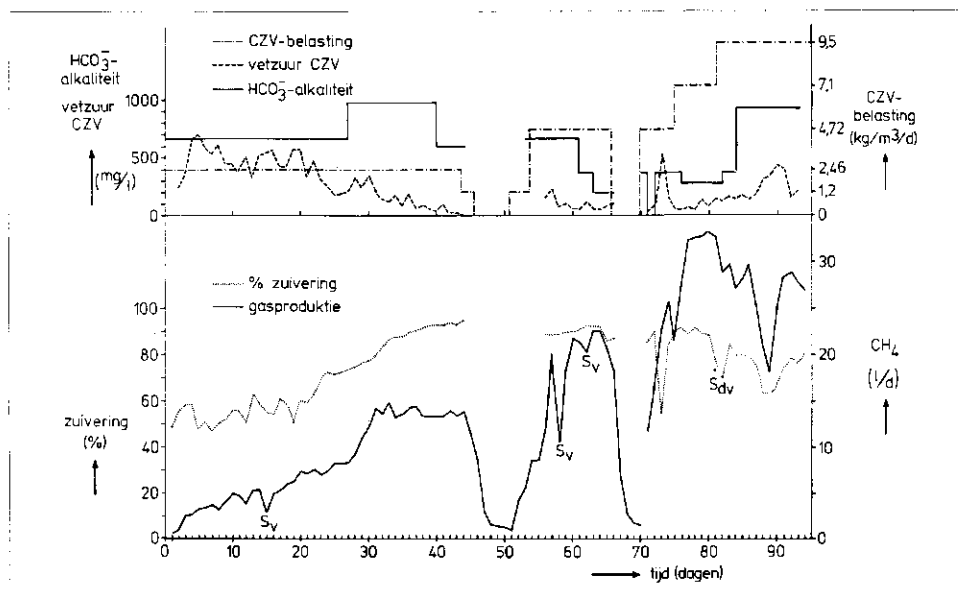
roeras (3) gemonteerd. Deze roeras was aanvankelijk voorzien van twee schoepen, t.w. een V-vormige op 10 cm boven de onderkant en een horizontale schoep op 40 cm hoogte. Tijdens de experimenten is boven op de roeras, ter hoogte van het scheidingsvlak gas/vloeistof, nog een derde schoep voorzien van een aantal verticale tanden aangebracht. De roermotor (9) wordt bediend door een tijdschakelaar (10). De gasafdeling geschiedt met behulp van een boven in de reaktor geplaatste gasklok (4). Bij onze experimenten bevond het gas/vloeistofscheidingsvlak zich steeds halverwege in de gasklok, hetgeen werd bereikt door het gas d.m.v. een waterslot (11) onder de vereiste overdruk te houden. Anders bestaat het gevaar dat de betrekkelijke nauwe gasafvoerleiding verstopt door met schuim meegevoerde slijdeeltjes. De ruimte (5) boven de gasklok doet dienst als bezinkruimte voor slijdeeltjes die met de vloeistof via de doorvoerspleet ( $d_i = 5$  mm) tussen de gasklok en de reaktorwand in deze ruimte zijn terechtgekomen. Het effluent verlaat de reaktor via vier rondom in de reaktorwand aangebrachte afvoerbuisjes die uitmonden op een op de reaktor geplaatst overstortvaatje (6). De bovenkant van de reaktor is gasdicht afgedekt met een perspex plaat. Eventueel in de bezinkruimte gevormd gas wordt op de aangegeven wijze afgevoerd naar de hoofdgasstroom. De totale inhoud van de reaktor bedraagt 17,75 liter waarvan 12,75 liter voor de gistingruimte.

#### De gebruikte voeding

De experimenten zijn uitgevoerd met een verdunde ondermelkoplossing (OMP) met een CZV van 1500 mg/l. Deze oplossing wordt bereid door in de toevoerleiding voor het influent een ongeveer 10 maal zo geconcentreerde oplossing van OMP (14) met de vereiste hoeveelheid leidingwater (16) te verdunnen. De geconcentreerde OMP-oplossing is i.v.m. de beperkte houdbaarheid in een koelkast opgeslagen. Aan het verdunningswater wordt toegevoegd 2,5 meq/l  $\text{CaCl}_2$ , een variërende hoeveelheid  $\text{NaHCO}_3$  en/of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (vanuit het voorraadvat (13)) en gedurende de eerste 2 weken ca. 40-50 mg/l  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ . Aangezien ondermelkpoeder 55 mg/g stikstof bevat en deze in de reaktor snel tot  $\text{NH}_4^+$  wordt omgezet, kon een dosering van  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  achterwege worden gelaten. Bij een slijb-aanwasfactor van 0,2 heeft maximaal slechts 30 mg/l  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  aanwezig te zijn.

#### Entmateriaal

De reaktor werd geënt met 4 liter niet geadapteerd slijb afkomstig uit de slijk-



Afb. 2 - Resultaten met de verdunde ondermelkpoederoplossing (CZV: 1500 mg/l). ( $S_v$ : storing in dosering van de geconcentreerde OMP-opl.,  $S_{dv}$ : storing in dosering van het verdunningswater).

gistinginstallatie van de rioolwaterzuivering te Ede.

#### Roerfrequentie

Gedurende het grootste deel van het onderzoek werd in de reaktor 10 seconden per 10 minuten geroerd. De roersnelheid bedroeg ca. 120 omw./min. Het effect van roerfrequentie, roertijd en intensiteit is bij dit onderzoek niet punt van studie geweest. Wel is gedurende een of meer dagen het roeren geheel achterwege gelaten om een indruk te krijgen wat het gevolg hiervan is.

#### Uitgevoerde analyses

Dagelijks werden de volgende metingen en analyses uitgevoerd: gasproductie m.b.v. een natte gasmeter (12), gassamenstelling,  $\text{pH}_{\text{effluent}}$ , de concentratie van de verschillende vetzuren in het effluent en het CZV van het effluent. Voorts werden regelmatig het  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  en het CZV van gecentrifugeerde effluent-monsters bepaald. De vetzuuranalyses zijn gaschromatografisch uitgevoerd, t.w. bij 120 °C over een kolom met Chromosorb WAW DMCS (60 - 70 mesh) met Tween 80 als stationaire fase. Er werd gewerkt met stikstof, verzadigd met mierezuur, als draaggas. De overige analyses werden volgens de NEN-voorschriften uitgevoerd.

#### Resultaten

De experimenten werden gestart bij een CZV-belasting van 2,46 kg/m<sup>3</sup>/d (berekend op het totale reaktorvolume). Na 44 dagen werd gedurende enige dagen de helft van deze belasting toegepast, onderbroken door een voedingsloze periode van 5 dagen.

Vervolgens is de belasting op dag 54 verhoogd tot 4,72 kg CZV/m<sup>3</sup>/d, op dag 75 tot 7,1 en tenslotte op dag 91 tot 9,5 kg CZV/m<sup>3</sup>/d.

Het verloop van de zuivering, de methaan-gasproductie en de vetzuurconcentratie zijn in afb. 2 grafisch weergegeven.

De zuivering is berekend uit de CZV-waarden van niet gefiltreerde of gecentrifugeerde effluentmonsters. De vetzuurconcentratie is uitgedrukt als mg/l vetzuur-CZV. De vetzuur-CZV-waarden zijn eenvoudig te berekenen uit de gaschromatografisch bepaalde concentraties van de verschillende vetzuren en hun theoretische CZV-waarden.

In afb. 2 zijn tevens de toegepaste CZV-belasting en de aan het influent gesuppleerde hoeveelheid bicarbonaat aangegeven.

Een aantal m.b.t. het zuiveringseffect belangrijke resultaten is samengevat in tabel IV.

De belangrijkste in het effluent aanwezige vluchtige vetzuren zijn azijnzuur, propionzuur en isovaleriaanzuur. Deze zuren bereiken na respectievelijk 2, 5 en 3 dagen hun hoogste concentratie, t.w. voor C-2 125-150 mg/l, voor C-3 130-180 mg/l en voor iso-C-5 50-60 mg/l. De vetzuurconcentraties blijven enige tijd op dit niveau gehandhaafd. Na dag 8 begint echter de hoeveelheid azijnzuur in het effluent sterk te dalen. Bij propionzuur is dit na dag 20 het geval en bij isovaleriaanzuur na dag 30.

De slijbuitspoeling is bij deze experimenten gevolgd door CZV-bepalingen uit te voeren op gecentrifugeerde en ruwe effluent-

TABEL IV - Resultaten verkregen bij verschillende CZV-belastingen.

CZV-belasting	(kg/m <sup>3</sup> /d)	2,46	4,72	7,1	9,5
VRT *)	(uur)	15,5	8,15	5,3	3,8
duur periode	(dagen)	44	20	6	12
beschouwde periode		40—44	61—63	79—80	85—87
CH <sub>4</sub> -productie	(l/d)	13,5	22,9	32,8	29,7
CZV-effl. ruw	(mg/l)	110	140	200	320
vetzuur CZV	(mg/l)	20—50	40—60	90—110	140—160
%-zuivering		92—93	91—92	87—88	78—79
pH		6,5	6,8	6,8	6,7
NH <sub>4</sub> +—N	(mg/l)	75—90	ca. 60	ca. 50	50—60

\*) VRT = vloeistof-retentietijd.

TABEL V - Optredende slibuitspoeling bij de verschillende toegepaste belastingen.

CZV-belasting kg/m <sup>3</sup> /d	VRT uren	beschouwde periode	gemiddelde slibuitspoeling (mg CZV/l)	aantal monsters
2,46	15,5	33—44	38	11
4,72	8,15	55—75	59	12
7,10	5,30	75—81	55	4
9,50	3,80	81—87	85	4

TABEL VI - Afgelaten en toegevoerde hoeveelheden slib per dag per m<sup>3</sup> reaktorvolume.

belasting	afgelaten slib			toegevoerd slib			periode
	hoeveelheid l/d/m <sup>3</sup>	D.S.	G.R.	hoeveelheid l/d/m <sup>3</sup>	D.S.	G.R.	
2,46	10,83	20,0	24,0	—	—	—	31—44
4,72	18,23	20,9	22,9	—	—	—	55—75
7,10	40,24	24,65	13,9	—	—	—	75—81
9,50	73,2	24,0	13,0	—	—	—	82—86
9,50	113,7	24,0	—	58,7	ca. 20	ca. 17	87—93

monsters. Het verschil tussen deze beide waarden is een directe maat voor de slibuitspoeling. De resultaten hiervan zijn samengevat in tabel V.

Tijdens het onderzoek moest, uitgezonderd de eerste vijf weken, regelmatig slib worden afgelaten uit de reaktor \*). Gedurende de laatste zes dagen van het experiment (vanaf dag 87) werd een gedeelte van het afgelaten slib vervangen door slib, dat in de periode 57 - 80 uit de reaktor was verwijderd. Dit slib is vrijwel volledig uitgestigt. Tot het terugvoeren van slib werd overgegaan omdat werd vermoed, dat tengevolge van het frequent aflaten van slib tijdens de voorafgaande dagen, de slibleefstijd te kort was geworden om een voldoende hoeveelheid methaanvormers in de reaktor te handhaven. De gemiddeld per dag afgelaten en toegevoerde hoeveelheden met de bijbehorende waarden, voor zover bepaald, voor het droge-stofgehalte (D.S.) en de gloeirest (G.R.) zijn samengevat in tabel VI.

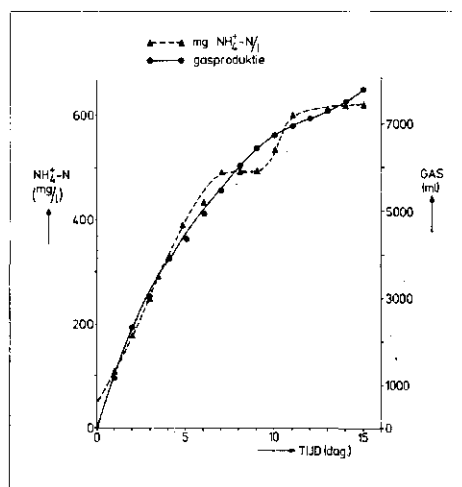
Uit de tabel blijkt dat het droge-stofgehalte van het afgetapte slib in de loop van het onderzoek geleidelijk is gestegen van 20 tot 24 g/l; de gloeirest is daarentegen gedaald van 24 tot 13 %.

\*) Slib werd afgelaten wanneer het slibbed een volume van ca. 11 liter had bereikt; meestal werd 1 liter tegelijk afgelaten.

Tijdens de gehele duur van het experiment vormde het slibbed een vrij homogene massa met daarboven een betrekkelijk heldere vloeistof. Slibmonsters genomen boven het slibbed bleken ongeveer 15 % minder droge stof te bevatten als monsters onder uit het slibbed.

Indien de gisting door een of andere oorzaak stil kwam te liggen, klonk het slibbed in korte tijd (ca. 2 uur) in tot ca. 70 % van het volume bij gisting.

Afb. 3 - Uitgistingsexperiment met slib, dat op dag 79 uit de reaktor is gespuid (2 liter slib met D.S. 21,5 g/l).



Een duidelijk effect van al of niet roeren in het slibbed op het zuiveringseffect en de slibuitspoeling kon niet worden aangetoond. Wel is gebleken dat drijfslaagvorming goed kan worden tegengegaan door op het grensvlak gas/vloeistof te roeren.

In afb. 3 zijn de resultaten weergegeven van een uitgistingsexperiment met slib, dat op dag 79 uit de reaktor is afgelaten. Het experiment is uitgevoerd aangezien het vermoeden bestond dat bij de toegepaste hoge belasting een deel van het substraat, met name eiwitten, in het slibbed werd afgevangen. Het slib werd in een geroerde container, die was aangesloten op een fles van Mariotte voor meting van de gasproductie, bij 30 °C weggezet. Het blijkt, dat er in de loop van de 15 dagen dat het experiment heeft geduurd, een aanzienlijke hoeveelheid gas (CH<sub>4</sub>-gehalte 88,5 %) wordt gevormd en voorts dat een sterke stijging optreedt in het NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N-gehalte van de oplossing.

## Discussie van de resultaten

*Het effect van de eindige snelheid van de hydrolyse, vetzuurvorming en methaan-gisting*

Bij de vergisting van een complex substraat als OMP spelen de drie deelprocessen stuk voor stuk een belangrijke rol. De maximale toepasbare CZV-belasting waarbij, ook op de lange duur, een minimaal zuiverings-effect van ca. 85 % kan worden verkregen wordt, naar men algemeen aanneemt, bepaald door de methaangistingsfase, daar de methaanbacteriën de langste generatietijd bezitten.

Bij een voortgaande verkorting van de slibleefstijd zal in de regel het eerst de methaangisting het laten afweten. Dit zal dan gepaard gaan met een stijging van de concentratie van de vluchtige vetzuren in het effluent.

Bij een stootsgewijze belastingverhoging of een optredende verzuring kan echter, bij een complex substraat als voeding, een minder goede werking van het systeem geheel of gedeeltelijk zijn gelegen in de eindige snelheid waarmee de hydrolyse en/of vetzuurvorming verlopen. Dit zal zich dan op de volgende wijze kunnen manifesteren:

- een verhoogde slibproductie (verlaagde methaanopbrengst) doordat een deel van de in het influent aanwezige organische stoffen in het slibbed worden afgevangen (precipitatie/sorptie). De hydrolyse-activiteit van het systeem is in dat geval onvoldoende.
- een veranderde samenstelling van het effluent. Bij een onvoldoende hydrolyse

en/of vetzuurvormingsactiviteit zal een grotere fraktie van de effluent-CZV bestaan uit niet-vetzuur-CZV, d.w.z. uit niet of gedeeltelijk gehydrolyseerd en/of niet verzuurd substraat.

Met behulp van de materiaalbalans zijn voor verschillende perioden van het onderzoek uit de gegevens in afb. 2 de waarden voor de slibaanwasfactor (Y) berekend. Uit de berekende waarden voor Y, samengevat in tabel VII, blijkt dat er sprake is van een zeer sterke slibaanwas gedurende de eerste 3 weken van het experiment en voorts bij een belasting van 9,5 kg CZV/m<sup>3</sup>/d. Visueel waren gedurende deze perioden van het onderzoek duidelijk melkvlokken in het slibbed waar te nemen. Een en ander duidt op een te geringe hydrolyse-activiteit van het systeem. Wat betreft de vorming van vetzuren, is zoals uit afb. 2 kan worden afgeleid, reeds na 3 dagen voldoende activiteit aanwezig. Na dag 3 bestaat ca. 70 % van de effluent-CZV uit vetzuren, daarvóór voornamelijk uit andere verbindingen. Voor de methaanbacteriën is derhalve reeds spoedig voldoende substraat aanwezig. Gezien echter de relatief hoge waarden van de effluentvetzuur-CZV is de methaangistingsactiviteit van het systeem ontoereikend. Uit de eerder vermelde resultaten van de GLC-analyses van het effluent blijkt dat de methaanbacteriën die azijnzuur als substraat gebruiken na ca. 8 dagen in voldoende aantal zijn ingegroeid. Met de bacteriën die propionzuur en isovaleriaanzuur als substraat gebruiken is dit pas na respectievelijk 20 en 30 dagen het geval. Uit tabel VII blijkt dat gedurende de periode 28-37 een zeer lage waarde voor Y wordt gevonden. De verklaring hiervoor moet worden gezocht in het feit dat in het slib opgehoopt substraat wordt gehydrolyseerd en beschikbaar komt voor de methaanbacteriën, die op dat moment in voldoende aantal zijn ingegroeid en/of actief zijn om voor omzetting in methaan te zorgen. Een stationaire toestand wordt bereikt in de periode 38-44, met een gemiddelde slibaanwas factor van 0,2. In parallel uitgevoerde ladingsgewijze experimenten werden voor Y waarden gevonden variërend tussen 0,18 en 0,20!

Bij de hierna toegepaste belasting van 4,72 kg CZV/m<sup>3</sup>/d manifesteert zich de onvoldoende hydrolyse-activiteit opnieuw. De stationaire toestand wordt hier, wellicht mede als gevolg van een voedingsloze periode van 4 dagen, reeds na 12 dagen bereikt. Tijdens de stationaire fase doet zich op dag 73 een opmerkelijke stijging in vetzuur-CZV voor. De oorzaak hiervan moet worden gezocht in de omstandigheid dat gedurende de voorafgaande 24 uur geen

TABEL VII - Waarden van de slibaanwasfactor berekend tijdens verschillende perioden van het onderzoek.

kg CZV/m <sup>3</sup> /d belasting	periode dag-no.	zuivering %	verwijderde hoeveelh. CZV gram CZV	CH <sub>4</sub> gevormd gram CZV	slib gevormd gram CZV	slibaanwas factor (Y) g CZV/g CZV
2,46	0—19	59	352	142,2	209,8	0,60
2,46	20—23	65	107,5	74,4	33,1	0,30
2,46	24—27	74	123,5	87,5	36	0,29
2,46	28—31	78	132	117	15	0,11
2,46	32—37	88	241	208	33	0,14
2,46	38—44	93	283	227	56	0,20
4,72	56—60	89	310	210	100	0,32
4,72	61—65	90	366	260	106	0,29
4,72	71—75	—	314	248	56,2	0,18
7,10	76—81	86	657	472	185	0,28
9,50	82—86	80	607	327	280	0,46
9,50	87—93	—	955	513	442	0,46

alkaliteit aan het influent werd toegevoegd. De pH van de reaktorinhoud daalde hierdoor tot ca. 5,8, met als gevolg dat de aangevoerde OMP-oplossing ging schiften. Visueel waren duidelijk melkvlokken in het slibbed waar te nemen. Nadat weer alkaliteit aan het influent is toegevoegd, vervloeien deze vlokken snel. Het gevolg van een en ander is echter een verhoogd vetzuuraanbod, hetgeen door het systeem op dat moment nog niet kan worden verwerkt. Ook de traag verloopende hydrolyse gedurende de eerste 3 - 4 weken van het experiment moet waarschijnlijk worden toegeschreven aan een te laag pH-niveau van de reaktorinhoud, t.w. 6,0 - 6,3.

De buffercapaciteit was tijdens deze periode in verband met de relatief slechte afbraak van de vetzuren aan de lage kant. Opmerkelijk in dit verband is dat pas na de verhoging van de influentalkaliteit op dag 27 het in het slibbed afgevangen substraat snel wordt vervloeid en verzuurd en vervolgens omgezet in methaan, met als resultaat dat tijdelijk een zeer lage waarde voor Y wordt gevonden. De pH was gedurende deze periode 6,5 - 6,7.

Als gevolg van de verlaging van de influentalkaliteit op dag 63, kwam de pH gedurende de dagen 64 en 65 op een niveau van ca. 6,4, waardoor waarschijnlijk enige schifting is opgetreden. De verlaagde methaanproductie op dag 64 tot 66 kan hiermee worden verklaard.

De betrekkelijk hoge waarde voor Y tijdens periode 75-82 (CZV-belasting 7,1 kg/m<sup>3</sup>/d) duidt ook hier op een te geringe hydrolyse-activiteit. De pH was tijdens deze periode echter steeds hoger dan 6,6. De methaanbacteriën kunnen de aangeboden hoeveelheid substraat, getuige het lage niveau van de vetzuur-CZV, goed verwerken. Een duidelijke aanwijzing voor de aanwezigheid van niet gehydrolyseerd substraat in het slib, vormen de resultaten van het uitgistingsexperiment (afb. 3). Het in dit experiment gebruikte slib werd afgetapt op dag 79, d.w.z. slib gevormd onder omstan-

digheden waarbij Y = ca. 0,3. Aannemende dat onder stationaire condities voor Y een waarde van 0,2 wordt gevonden, zal dit slib ongeveer 30 % goed afbreekbaar substraat moeten bevatten, d.w.z. 0,3 x 60,2 = 18 g CZV. Uit de resultaten in afb. 3 blijkt dat in de loop van 15 dagen 6,9 liter CH<sub>4</sub> wordt gevormd, hetgeen overeenkomt met 17 g CZV. Een groot gedeelte van het opgehoopte substraat bestaat uit eiwitten, getuige de sterke toename, (totaal 1,1 gram) van het NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N-gehalte van de oplossing. Bij een aangenomen N-gehalte van eiwit van 14 %, volgt hieruit dat ca. 7,9 g substraat-eiwit in het slib aanwezig was.

Gezien de berekende hoge waarden voor Y bij een belasting van 9,5 kg CZV/m<sup>3</sup>/d, is het duidelijk dat het systeem wat betreft hydrolyse-capaciteit onder deze omstandigheden zwaar is overbelast. Er treedt zelfs een daling op in de CH<sub>4</sub>-productie t.o.v. de voorgaande periode met een belasting van 7,1 kg CZV/m<sup>3</sup>/d.

Aangezien de vetzuur-CZV op ongeveer hetzelfde niveau is gebleven, kan de oorzaak hiervan niet primair in een te lage methaangistingsactiviteit worden gezocht.

Interessant in dit verband is de scherpe daling in de methaangasproductie en het zuiveringseffect na dag 82. Deze daling gaat, zoals blijkt uit afb. 2, niet gepaard met een stijging van de vetzuurconcentratie in het effluent, m.a.w. de fraktie niet-vetzuur-CZV in het effluent neemt toe, hetgeen zou kunnen wijzen op een te geringe vetzuurvormingsactiviteit. Hoewel de minder goede werking van het systeem bij deze hoge belasting niet primair kan worden toegeschreven aan een te lage methaangistingsactiviteit, kan echter worden verwacht dat de activiteit van het slib wat dit betreft betrekkelijk snel zal afnemen, aangezien er sprake is van een sterke slibaanwas en dientengevolge van een drastische verkorting van de slibleeftijd.

Als gevolg van een betrekkelijk gering aanbod aan substraat kunnen de methaan-

bakteriën bovendien niet maximaal aangroeiën.

Aan de hand van een eenvoudige berekening is in te zien dat de methaangistingsactiviteit van het slib bij hogere waarden van Y sterk moet afnemen.

De hoeveelheid methaanvormers ( $\Delta G_{\text{meth.sl.}}$ ) die bij omzetting van een hoeveelheid voor deze bacteriën geschikt substraat ( $\Delta \text{CZV}_{\text{meth.gist.}}$ ) wordt geproduceerd, kan worden berekend met:

$$Y_{\text{meth.gist.}} = \frac{\Delta G_{\text{meth.sl.}}}{\Delta \text{CZV}_{\text{meth.gist.}}} \quad (2)$$

Aangezien het substraat,  $\Delta \text{CZV}_{\text{meth.gist.}}$  wordt omgezet in CH<sub>4</sub> ( $= (1-Y)ZC_0$  mg CZV/l influent) of methaanslib, geldt voorts:

$$\Delta \text{CZV}_{\text{meth.gist.}} = (1-Y) Z C_0 + \Delta G_{\text{meth.sl.}} \quad (3)$$

waarin:  
 $C_0$  = influent-CZV,  
 $Z$  = zuiveringseffekt,  
 $Y$  = totaal slibaanwas faktor.

Uit (2) en (3) volgt:

$$\Delta G_{\text{meth.sl.}} = Y_{\text{meth.gist.}} \frac{(1-Y) Z C_0}{1 - Y_{\text{meth.gist.}}} \quad (4)$$

De totale hoeveelheid slib die per liter influent wordt geproduceerd kan worden berekend met:

$$\Delta G_{\text{totaal}} = Y C_0 Z \quad (5)$$

Volgens de literatuur [18] kan voor  $Y_{\text{meth.gist.}}$  een waarde van 0,06 worden aangehouden. Met behulp van (4) en (5) zijn voor  $C_0 = 1500$  mg/l en  $Z = 0,9$  voor een aantal waarden van Y berekend: de gevormde hoeveelheden methaanslib en totaal slib (per liter influent), alsmede de fraktie 'methaanslib' in het totaal gevormde slib. De resultaten zijn vermeld in tabel VIII.

TABEL VIII - Produktie van methaanslib en totaal slib bij verschillende waarden van Y.

( $C_0 = 1500$  mg/l;  $Z = 0,9$ ;  $Y_{\text{meth.gist.}} = 0,06$ )

Y	$\Delta G_{\text{meth.sl.}}$ mg CZV/l	$\Delta G_{\text{totaal sl.}}$ mg CZV/l	fraktie 'methaanslib'
0,2	69	270	0,25
0,3	60	405	0,148
0,4	51	540	0,094
0,45	47,4	533	0,089

Uit de gegevens in deze tabel blijkt duidelijk dat de fraktie 'methaanslib' in het slib bij toenemende waarden van Y scherp daalt.

*Slibleeftijd en slibuitspoeling*

Bepalend voor de slibleeftijd is de slib-

TABEL IX - Slibleeftijd bij de verschillende toegepaste belastingen.

belasting kg/m <sup>3</sup> /d	beschouwde periode	uit reaktor gespuid g/d/m <sup>3</sup> *)	verwijderde uitgespoeld g/d/m <sup>3</sup>	hoeveelheid totaal g/d/m <sup>3</sup>	slibconc. reaktor g/l	slibleeftijd dagen
2,46	33—44	217	42	259	19	44
4,72	55—75	381	122	503	19,9	24
7,10	75—81	992	146	1138	23,4	12
9,5	81—92	1647	361	2008	22,8	7

\*) De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van een totaal reaktorvolume van 1 m<sup>3</sup>. Voor de slib-CZV is een waarde van 1,41 aangehouden.

TABEL X - Slibleeftijd berekend voor een aantal waarden van Y en verschillende belastingen bij een aangenomen zuiveringseffekt van 90 % \*).

Y	organische belasting kg/m <sup>3</sup> /d	slibuitspoeling g/m <sup>3</sup>	g/m <sup>3</sup> /d	gevormd slib g/m <sup>3</sup> /d	netto slibaanwas g/m <sup>3</sup> /d	slibleeftijd dagen
0,2	2,46	28,5	42	316	274	44
	4,72	42	122	606	484	25
	7,10	32	146	913	767	15,5
	9,50	57	361	1221	860	13
0,3	2,46	28,5	42	474	432	29
	4,72	42	122	910	788	15,5
	7,10	32	146	1396	1223	10
	9,50	57	361	1832	1471	8
0,4	2,46	28,5	42	632	590	21
	4,72	42	122	1205	1003	11
	7,10	32	146	1812	1666	7
	9,50	57	361	2443	2082	6
0,5	2,46	28,5	42	785	743	16
	4,72	42	122	1506	1384	8,5
	7,10	32	146	2266	2120	5,5
	9,50	57	361	3032	2671	4,5

\*) Bij de berekening is aangenomen dat de slib-CZV steeds 1,41 bedraagt. De berekende waarden gelden voor een totaal reaktorvolume van 1 m<sup>3</sup>.

concentratie die in de gistingsruimte bij goed verlopende gisting kan worden gehandhaafd. Bij het hier beschreven experiment bleek de slibconcentratie in het slibbed 18-22 g/l te bedragen, waarbij de hoogste waarden werden gevonden aan het einde van het experiment, dus op het moment dat de reaktor hoog was belast. De slibleeftijd is bij de verschillende toegepaste belastingen berekend uit de gegevens vermeld in tabel V (slibuitspoeling) en tabel VI (afgelaten hoeveelheid slib) op basis van een gemiddeld slibbed volume van 600 l/m<sup>3</sup> totaal reaktorvolume. Voor de gemiddelde slibconcentratie in het slibbed is bij de berekening aangenomen dat deze 95 % bedraagt van de slibconcentratie van het onder uit de reaktor afgelaten slib. De resultaten zijn vermeld in tabel IX. Uit de tabel blijkt dat de slibleeftijd voornamelijk wordt bepaald door de hoeveelheid slib, die uit de reaktor moet worden gespuid. De hoeveelheid slib welke met het effluent het systeem verlaat, is steeds aanzienlijk lager dan welke door middel van spuien moet worden afgelaten. Aangezien volgens de literatuur [18] voor het in stand houden van een stabiele gisting bij een temperatuur van 30 °C de slibleeftijd

minimaal 3 - 4 dagen moet bedragen en bij de zgn. hoogbelaste slijkgisting wordt gewerkt bij een slibleeftijd van min. 10 dagen, is het duidelijk dat bij de toegepaste belasting van 9,5 kg/m<sup>3</sup>/d de omstandigheden voor methaangisting al bedenkelijk zijn. Zoals boven is uiteengezet, ligt de oorzaak van de lage slibleeftijd in de te grote slibaanwas. Bij een lagere waarde voor Y zal ook bij een belasting van 9,5 kg/m<sup>3</sup>/d een slibleeftijd van 10 dagen of meer kunnen worden bereikt, mits de slibconcentratie in de reaktor op ongeveer hetzelfde niveau kan worden gehandhaafd. Ter illustratie is voor een aantal waarden van Y de slibleeftijd bij verschillende belastingen uitgerekend. Voor de gemiddelde slibconcentratie in het slibbed is hierbij een waarde gekozen van 20 g/l, terwijl voor het zuiveringseffekt een waarde van 90 % is aangehouden. Uit tabel X blijkt dat bij een waarde van Y = 0,2 onder de gemaakte veronderstellingen een slibleeftijd van 13 dagen zou kunnen worden bereikt. Wanneer we voor een OMP-oplossing voor de slibleeftijd 10 dagen als de toelaatbare ondergrens aanhouden, is bij Y = 0,3 een belasting van 7,1 kg/m<sup>3</sup>/d nog mogelijk.

Hoewel uit de gegevens in tabel X kan worden afgeleid dat toepassing van een belasting  $> ca. 7,0 \text{ kg/m}^3/\text{d}$  niet onmogelijk is, is op grond van de verkregen resultaten wel duidelijk, dat de belasting hiertoe zeer langzaam moet worden opgevoerd. De berekende waarden voor de slibleef tijd uit tabel X komen, voor wat betreft de tijdens de experimenten opgetreden omstandigheden (vergelijk tabel VII voor Y-waarden en zuiveringseffekt), goed overeen met de uit de analyses berekende waarden (tabel IX).

#### Substraatverbruiknelheid van de methaanbacteriën

Op basis van de verkregen gegevens kan nu de substraatverbruiknelheid van het 'methaanslib' worden berekend. De totale in de reaktor aanwezige hoeveelheid van dit slib kan worden berekend met behulp van de gegevens uit tabel VIII (fractie 'methaanslib'), tabel VII (Y-waarden) en tabel IX (gemiddelde slibconcentratie in de reaktor). De door de methaanbacteriën per omgezette hoeveelheid

$$\text{substraat uit } \frac{\text{VRT}}{24} \text{ m}^3 \text{ influent/m}^3 \text{ reaktor}$$

inhoud/dag,  $(\Delta \text{ CZV}_{\text{meth.gist.})_T$ , kan worden berekend met:

$$(\Delta \text{ CZV}_{\text{meth.gist.})_T = \frac{(1 - Y) Z C_0}{1 - Y_{\text{meth.gist.}}} \frac{24}{\text{VRT}} \quad (6)$$

De betrekking is eenvoudig uit de vergelijkingen (2) en (4) af te leiden. De specifieke substraatverbruiknelheid  $(dF/dt)$  is dan verder eenvoudig te berekenen. De resultaten van de berekeningen zijn vermeld in tabel XI.

Vergelijking van de gevonden waarden van de substraatverbruiknelheid  $(dF/dt)$  met in de literatuur gerapporteerde waarden voor de maximale substraatverbruiknelheid  $(k)$  leert dat ook bij lage substraatconcentraties, d.w.z. minder dan ca. 200 mg/l aan de verschillende vluchtige vetzuren, methaanbacteriën in staat zijn een

aanzienlijke hoeveelheid substraat te verbruiken. Hierbij moet echter worden aangetekend dat bij de hoge belastingen (7,1 en 9,5 kg/m<sup>3</sup>/d) waarschijnlijk meer methaanslib in de reaktor aanwezig is geweest dan is berekend, aangezien deze belastingen gedurende een te korte periode werden toegepast om het berekende methaanslibgehalte te kunnen bereiken. Bij een belasting van 7,1 kg CZV/m<sup>3</sup>/d zal, indien  $Y = 0,3$  blijft, de hoeveelheid 'methaanslib' af moeten nemen tot ca. 2100 g/m<sup>3</sup>. In de 6 dagen dat deze belasting is toegepast kan maximaal ongeveer de helft van het slib zijn vernieuwd (slibleef tijd 12 dagen), d.w.z. aan het eind van deze periode zal ongeveer 2500 g/m<sup>3</sup> 'methaanslib' in de reaktor aanwezig zijn.

De substraatverbruiknelheid zal derhalve dan ongeveer 1,9 g CZV/g/d bedragen. Bij de daarna toegepaste belasting van 9,5 kg CZV/m<sup>3</sup>/d zal na vijf dagen een groot deel van het slib vernieuwd zijn (slibleef tijd 7 dagen); de hoeveelheid 'methaanslib' zal weliswaar iets groter zijn dan de berekende 1220 g/m<sup>3</sup>, maar zeker niet hoger zijn dan ca. 1500 g/m<sup>3</sup>. Een en ander betekent dat methaanbacteriën ca. 3 g CZV/g/d kunnen verbruiken. Na dag 86 is nog enige dagen een slibretoursysteem toegepast, waarbij een gedeelte van het afgelaten slib werd vervangen door slib dat in de periode 57-80 is afgelaten; de hoeveelheid methaanslib in de reaktor werd hierdoor iets hoger met als gevolg een toename in de methaan gasproductie en een stijging van het zuiveringseffekt. De slibaanwas blijft echter ook gedurende deze periode zeer hoog en daarmee de slibleef tijd laag. De verhoogde methaanproductie vindt plaats, zoals blijkt uit afb. 2, na een voorafgaande relatief sterke verhoging van de vetzuur-CZV in het effluent. Door toepassing van het slibretoursysteem is kennelijk ook de vetzuurvormingsactiviteit op een iets hoger niveau komen te liggen.

Het is tenslotte interessant de verkregen resultaten te vergelijken met die van Ziemke

en Schroepfer [6]. Deze onderzoekers bestudeerden het contactproces, bestaande uit een gistingsruimte van 57 liter en een ongeveer even grote nabezinkruimte gecombineerd met een vacuumontgassing, voor toepassing op de zuivering van een OMP-oplossing. De experimenten werden uitgevoerd bij 25 en 35 °C. De verkregen resultaten zijn samengevat in tabel I. Bij beschouwing van deze resultaten blijkt dat bij 35 °C een zuiveringseffekt van 86 % kan worden verkregen bij een belasting van 5,2 kg CZV/m<sup>3</sup> gistingsruimte/d, d.i. ca. 2,6 kg CZV/m<sup>3</sup> totaal te installeren volume/d. Bij een temperatuur van 25 °C bedroeg de maximaal toegepaste belasting iets minder dan de helft hiervan en werd een zuiveringseffekt van 73 % bereikt. In de door ons gebruikte 'upflow-reactor' kan bij een zuiveringseffekt van 90 % bij een temperatuur van 30 °C een belasting van min. 5 kg CZV/m<sup>3</sup> totaal te installeren volume/d worden bereikt. In de gistingsruimte kan onder deze omstandigheden een slibconcentratie van 18 - 22 g/l worden gehandhaafd, waarbij de slibuitspoeling nooit meer dan ca. 60 mg/l bedraagt. In het door Ziemke en Schroepfer onderzochte systeem kon maximaal een slibconcentratie van 15 g/l in de reaktor worden bereikt; de slibuitspoeling bedroeg bij hen 40 - 80 mg/l. Wij hebben bij ons onderzoek tevens kunnen constateren dat slechts weinig slib met het effluent in de nabezinkruimte terecht komt. Bij een installatie op grotere schaal kan derhalve waarschijnlijk voor de bezinkruimte een relatief kleiner volume worden aangehouden, temeer daar de slibleef tijd toch primair wordt bepaald door de slibaanwas en de slibconcentratie, die in de gistingsruimte kan worden gehandhaafd. Een dergelijke installatie kan wat betreft constructie eenvoudig zijn, t.w. bestaande uit een grote opwaarts doorstroomde gistingsruimte waarin intermitterend langzaam kan worden geroerd, en voorzien van een soortgelijk gasafscheidingsysteem als in de onderzochte laboratoriumreactor en van een ingebouwde bezinkruimte. Vooralsnog is het echter noodzakelijk experimenten op grotere schaal uit te voeren.

#### Konklusies

1. Zuivelafvalwater met een CZV van ca. 1500 mg/l kan door middel van methaangisting voor ca. 90 - 93 % worden gezuiverd. De hierbij toepasbare belasting bedraagt minimaal 5 kg CZV/dag/m<sup>3</sup> totaal te installeren reaktorvolume. Bij gebruik van entmateriaal uit een slijkgistingsinstallatie van een rioolwaterzuivering kan een dergelijke belasting worden bereikt na een aanpassingsperiode van 8 - 12 weken.

TABEL XI - Substraatverbruiknelheid van het 'methaanslib' bij de verschillende toegepaste belastingen

belasting	2,46	4,72	7,10	9,5
VRT	15,5	8,15	5,3	3,8
beschouwde periode	33-44	71-75	76-81	82-86
Y	0,2	0,2	0,3	0,45
fractie 'methaanslib'	0,25	0,25	0,15	0,09
slibconcentratie slibbed (g/m <sup>3</sup> )	19000	19000	23400	22800
hoeveelheid 'methaanslib' (g/m <sup>3</sup> reaktor)	2850	2985	2100	1220
C <sub>0</sub> (g/m <sup>3</sup> )	1590	1600	1570	1500
Z (C/C <sub>0</sub> )	0,93	0,90	0,88	0,79
CZV <sub>ongez.meth.slib.</sub> (g/d/m <sup>3</sup> reaktor)	4950	3610	4660	4380
dF/dt (g CZV/g slib/d)	0,68	1,21	2,21	3,60



De belasting moet gedurende deze periode geleidelijk worden opgevoerd. Tevens dient er voor te worden gewaakt dat de pH van de reaktorinhoud gehandhaafd blijft op een niveau van 6,5 of hoger.

2. Bij stationair verlopende gisting bedraagt de slibaanwas 0,18 - 0,20 g slib CZV per gram CZV verwijderde OMP. Indien de belasting te snel wordt opgevoerd en/of de pH van de reaktorinhoud daalt beneden pH=6,5, stijgt de slibaanwas tot waarden van 0,3 en hoger. De oorzaak hiervan is vooral gelegen in een te traag verlopende hydrolyse.

3. De slibretentie van de gebruikte 'upflow' reaktor is buitengewoon goed; de slibuitspoeling bij een belasting van 5 - 7 kg/m<sup>3</sup>/d bedraagt max. ca. 60 mg/l. De slibleeftijd wordt derhalve voornamelijk bepaald door de optredende slibaanwas en de slibconcentratie die in het slibbed kan worden gehandhaafd. In de experimenten met OMP bedroeg de slibconcentratie 18 - 22 g D.S./l.

#### Literatuur

1. Pettet, A. E. J., Tomlinson, P. G., Hemens, J., J. Inst. Publ. Health Eng., 170-191, juli 1959.
2. Rands, M. B., Cooper, D. E., Proc. Ind. Waste Conf., Purdue Univ., 21, 613, 1966.
3. Steffen, A. J., Bredker, M., Proc. Ind. Waste Conf., Purdue Univ. 16, 423, 1961.
4. Schaffer, R. B., Proc. Ind. Waste Conf., Purdue Univ. 18, 447, 1963.
5. Schroepfer, G. J., Fullen, W. J., Johnson, A. S., Ziemke, N. R., Anderson, J. J., Sew. Ind. Wastes, 27, 460-486, 1955.
6. Schroepfer, G. J., Ziemke, N. R., Sew. Ind. Wastes, 31, 164, 697, 1959.
7. Hemens, J., Meiring, P. G. J., Stander, G. J., Water Waste Treatment, mei/juni 1962.
8. Ling, J. T., Proc. Ind. Waste Conf., Purdue Univ. 16, 217, 1961.
9. Newton, P., Keinath, H., Hillis, L. S., Proc. Ind. Waste Conf., Purdue Univ., 16, 332, 1961.
10. Stander, G. J., Snijders, R., Proc. Inst. Sew. Purif., 4, 447, 1950.
11. Stander, G. J., Proc. Ind. Wastes Conf., Purdue Univ., 22, 892, 1967.
12. Basu, A. K., Leclerk, E., 6th Int. Water Poll. Research Conf., 18-23 juni 1962.
13. Mc.Nary, R. R., Wolford, R. W., Dougherty, M. H., Proc. Ind. Waste Conf., Purdue Univ., 8, 253, 1953.
14. Painter, H. A., Hemens, J., Shurben, D. G. The Brewer's Guardian, 1960.
15. Köhler, R., Wasser, Luft, Betrieb 17, 10, 342, 1973.
16. Lettinga, G., Stellema, J., H<sub>2</sub>O, 7, 1974.
17. Heinicke, D., die Starke 17, 189, 1965.
18. Lawrence, A. W., McCarty, P. L., J. Sanitary Eng. Div., SA-3, Proc ASCE, 757, 1970.
19. Lawrence, A. W., McCarty, P. L., J. Water Poll. Contr. Fed., 41 no. 2, R-1, 1969.
20. Jansen, A. G. N., verslag doktoraal onderzoek 1973.
21. Velzen, A. F. M., verslag doktoraal onderzoek 1973.
22. Lettinga, G., Fohr, P. G., Janssen, G. G. W., H<sub>2</sub>O, 5, nr. 22, 510, 1972.
23. Korte, K. F. de, verslag doktoraal onderzoek 1972.
24. McCarty, P. L., Young, J. C., J. Water Poll. Contr., Fed., 41, R-160, 1969.
25. Coulter, J. B., Ettinger, M. B., Sew. Ind. Wastes 29, 468, 1957.
26. Pretorius, W. A., Water Research 5, 681, 1971.
27. Simpson, D. E., Water Research 5, 523, 1971.
28. Dague, R. R., Mc Kinney, R. E., Pfeffer, J. T., J. Water Poll. Contr. Fed., 42, R-29, 1970.